



Виктор Гарсия

Бортовые вычислительные комплексы с кондуктивным теплоотводом: пример конструктивной реализации на основе спецификации VPX REDI

В статье рассматриваются методы кондуктивного охлаждения бортового радиоэлектронного оборудования, устанавливаемого на различные типы подвижных объектов-носителей с использованием современных конструкторских решений, предлагаемых компанией Schroff. Дается подробное описание практической реализации системного шасси с кондуктивным охлаждением для бортового вычислительного комплекса, соответствующего спецификации VITA48.2 – VPX REDI.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные системы управления, устанавливаемые на различных подвижных объектах, на сегодняшний день являются сложными и многофункциональными комплексами, обеспечивающими решения самого широкого круга задач. При этом в зависимости от типа объекта-носителя они могут либо помогать человеку-оператору и расширять его возможности (классический пример – бортовой комплекс авионики

на пилотируемом самолёте или система управления огнём в танке), либо быть основным (иногда единственным) центром управления какого-либо самоходного аппарата-робота (беспилотные ЛА, подводные обитаемые аппараты, космические аппараты и т.д.). Сердцем таких систем управления является бортовой вычислительный комплекс – специализированный компьютер, находящийся, как правило, под управлением операционной системы реального времени и подключённый при помощи

периферийного оборудования к системам сбора информации и управления объектом-носителем. Необходимость осуществлять управление объектом в реальном времени в сочетании с резким ростом потоков обрабатываемой информации (на-

пример, анализ информации от РЛС, распознавание графических образов, шифрование/дешифрование потоковых данных) диктуют очень высокие требования к быстродействию вычислительного комплекса, что обуславливает рост потребляемой им мощности и, соответственно, требований к системам питания и охлаждения. В обычных условиях для решения такого класса задач, как правило, используют встраиваемые компьютеры с магистрально-модульной архитектурой на базе современных высокоскоростных последовательных интерфейсов, таких как CompactPCI Serial, AdvancedTCA, MicroTCA, VXS и других, причём конструктивно эти компьютеры размещаются в различных стандартных 19-дюймовых конструктивах и охлаждаются при помощи мощных вентиляционных систем. Однако такие решения, как правило, не пригодны для установки на борт подвижного объекта по многим причинам: ограничения по габаритам, по потребляемой мощности, по возможностям для охлаждающей вентиляции (напри-



Рис. 1. Пример вычислительной системы с кондуктивным охлаждением по спецификации MicroTCA.3

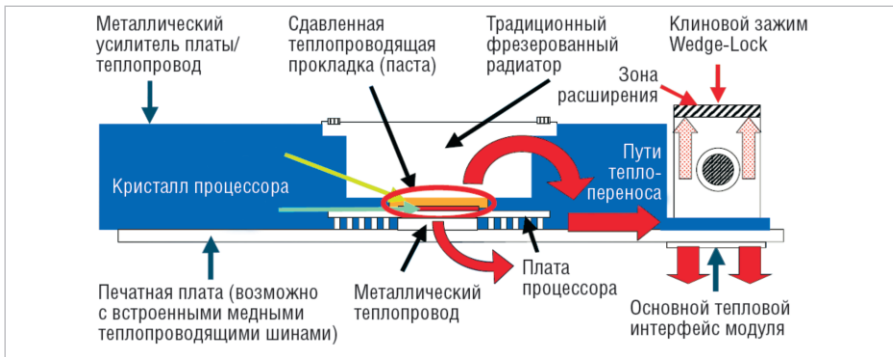


Рис. 2. Схема теплоотвода при кондуктивном охлаждении

мер, на борту необитаемого космического аппарата давление газа очень низкое и конвективного теплоотвода практически нет). Отдельной проблемой являются очень высокие требования по вибро- и ударопрочности оборудования, применяемого на подвижных объектах-носителях, так как последние в процессе движения могут подвергаться жёстким внешним воздействиям, во время и после которых бортовой вычислительный комплекс должен сохранять полную работоспособность.

Рациональным решением в такой ситуации является применение вычислительных систем с кондуктивным охлаждением (рис. 1), которое позволяет одновременно решить как проблему устойчивости системы к механическим воздействиям, так и проблему теплоотвода. В этом случае (рис. 2) тепло от нагретых электронных компонентов передаётся последовательно через несколько металлических теплопроводящих деталей на корпус шасси, с которого уже отводится воздухом, или на корпус носителя (например, в случае подводного аппарата). На сегодняшний день подспецификации с кондуктивным охлаждением есть во многих стандартах, основными из которых являются VPX (несколько вариантов), CompactPCI Serial (в базовой спецификации) и MicroTCA.3. В данной статье будут подробно рассмотрены вопросы конструктивной реализации бортового вычислительного комплекса с кондуктивным охлаждением на основе реше-

ний от компании Schroff (Германия), соответствующего спецификации VITA48.2 – VPX REDI и имеющего максимально возможную устойчивость к вибрационным и ударным нагрузкам.

Спецификация VPX: ПРОИСХОЖДЕНИЕ

Спецификация VPX ведёт свою родословную от хорошо известной параллельной шины VME, первая версия которой была стандартизована ещё в 1984 году, и изначально была ориентирована, в том числе, и на системы управления объектами в реальном времени, так как имела хорошо развитую систему обработки прерываний и могла работать под управлением целого ряда операционных систем реального времени, многие из которых к настоящему моменту уже надёжно забыты. Разработкой и стандартизацией различных вариантов шины VME и её «потомков» с 1984 года и по сей день занимается международный

консорциум VMEbus International Trade Association (VITA). Шина VME оставалась только параллельной до 2003 года, когда в процессе борьбы за повышение её пропускной способности была принята спецификация VITA31.1, в которой к параллельной шине VME64x был впервые добавлен последовательный интерфейс Gigabit Ethernet. Затем в 2006 году была принята следующая гибридная спецификация VITA41.0 VXS, которая уже поддерживала несколько быстрых последовательных протоколов (Gigabit Ethernet, Serial Rapid I/O, PCI Express, InfiniBand), и наконец в 2007 году была утверждена разрабатываемая с 2002 года первая исключительно последовательная базовая спецификация VITA46.0 VPX. Она начала бурно развиваться усилиями различных производителей оборудования в самых разных направлениях, и для итоговой стандартизации в 2010 году была предложена новая (актуальная на настоящий момент) спецификация VITA65 OpenVPX, описывающая только самые базовые понятия. В рамках данной статьи для нас наибольший интерес представляет подспецификация VITA48.2 – VPX REDI (Ruggedized Enhanced Design Implementation), которая описывает конструктивное исполнение вычислительных систем на основе базовой спецификации VPX с кондуктивным охлаждением, рассчитанных на экстремальные вибрационные и ударные нагрузки. Благодаря высокой механической прочности и

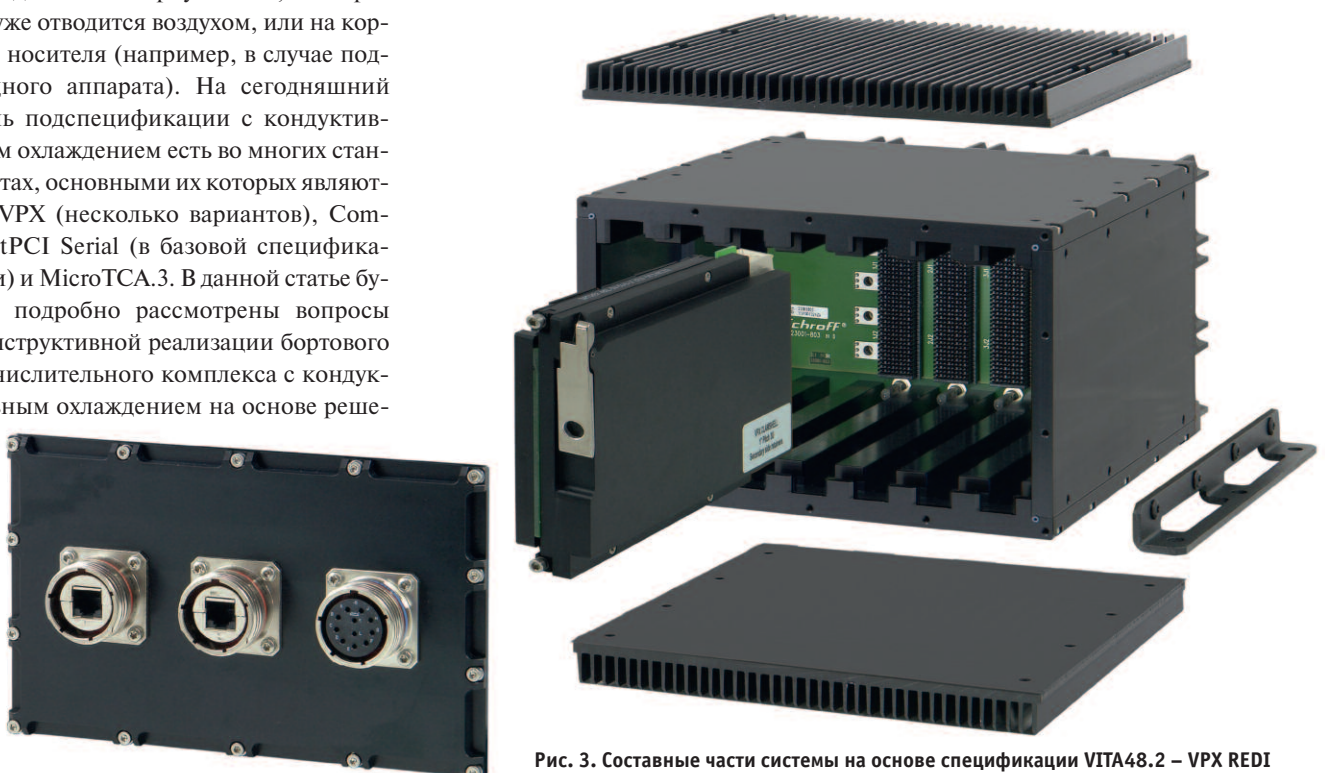


Рис. 3. Составные части системы на основе спецификации VITA48.2 – VPX REDI



Рис. 4. Пример панели теплоотводящего кожуха, фрезерованной из цельного куска металла

устойчивости к воздействию ударов и вибраций системы VPX REDI, изначально разработанные для военных применений, всё чаще используются и в гражданских областях, таких как авиационный и железнодорожный транспорт, а также в космической технике.

СПЕЦИФИКАЦИЯ VITA48.2 – VPX REDI: ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОТ SCHROFF

Итак, наиболее устойчивыми к механическим воздействиям являются системы, соответствующие спецификации VITA48.2 – VPX REDI с кондуктивным теплоотводом, и когда компания Schroff приняла решение о разработке и производстве новой серии шасси и конструктивов стандарта VPX, она начала реализовывать именно эту спецификацию. Такая система (рис. 3) конструктивно состоит из нескольких компонентов: модульного шасси с кросс-платой VPX с заданным шагом слотов и блока питания, а также специальных теплоотводящих кожухов (clamshell), индивидуально изготовленных для каждого типа активных модулей, с системой теплоотвода и прочной фиксации в шасси при помощи специальных распорных клиновых зажимов Wedge-Lock и Card-Lock. Модульная структура системы, базирующаяся на платформенной концепции Schroff, позволяет пользователю не только строить свою систему по модульному принципу, но также расширять и развивать её в будущем. Системы могут иметь различные геометрические размеры, электромагнитное экранирование, защиту IP, использовать различные варианты теплоотвода.



Рис. 5. Пример рамки в сборе с клиновыми зажимами и ручками-экстракторами для сборки теплоотводящего кожуха для платы 6U

В стандартном виде системы VITA48.2 оснащаются кросс-платой с 5 или 7 слотами с топологией «полносвязная сеть» (full mesh), использующей специальные высокоплотные высокочастотные пластинчатые разъёмы. Кросс-платы с другими характеристиками (в частности с новыми штыревыми разъёмами), прописанными в спецификации OpenVPX, в настоящий момент находятся в стадии разработки. Пропускная способность кросс-плат VPX от компании Schroff аналогична другим высокоскоростным кросс-платам (AdvancedTCA, MicroTCA, CompactPCI Serial) и составляет до 10 Гбит/с по одной дифференциальной паре и до 40 Гбит/с по 4 дифференциальным парам. Подтверждение этой пропускной способности было получено в тестовой лаборатории компании Schroff в процессе испытаний на частотах до 20 ГГц. Кросс-платы, разработанные для экстремальных условий, могут после минимальной адаптации использоваться также в настольных системах для разработки, в стандартных 19-дюймовых блочных каркасах. В кросс-платах VPX по спецификации предусмотре-

но 2 слота для установки источников питания, однако, так как в настоящий момент на рынке практически нет источников питания в виде вставных модулей VPX, на кросс-платах предусмотрены стандартные винтовые терминалы для подключения питания от внешнего источника.

ПРОЧНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ

Ключевые компоненты системы кондуктивного охлаждения, такие как кожухи clamshell и клиновые зажимы Wedge-Lock/Card-Lock, разработаны с учётом самых жёстких требований. Они, с одной стороны, предназначены для чёткой фиксации и механической защиты печатных плат в тяжёлых условиях на борту кораблей, самолётов, поездов и других подвижных объектов, а с другой — служат для отведения от печатных плат производимой ими тепловой энергии.

Кожухи clamshell, описанные в стандарте VITA48.2, имеют в верхней и нижней частях клиновые зажимы Wedge-Lock/Card-Lock, обеспечивающие надёжную фиксацию модулей в шасси, а также специальные ручки для вставки/изъятия модулей из шасси. Как правило, кожух со всех сторон окружает печатную плату, при этом его внутренняя сторона должна быть фигурно отфрезерована в соответствии с профилем конкретной печатной платы. Так как каждый тип платы уникален, разработка кожуха требует полной детальной информации о плате, которая не всегда имеется (или есть организационные препятствия для её передачи стороннему разработчику). Поэтому заказчик может выбрать одну из двух возможных технологий: фрезеровать панель кожуха из цельного куска металла, передав при этом исполнителю полный комплект документации на неё (рис. 4), или выбрать комбинированный вариант,



Рис. 6. Два варианта исполнения теплоотводящего кожуха для плат (clamshell) – левый и правый

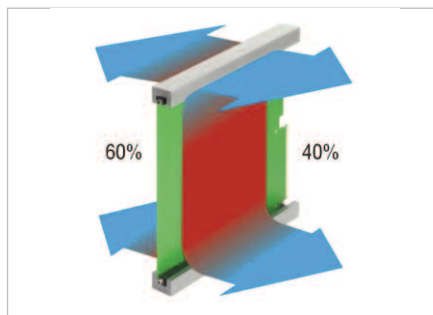


Рис. 7. Количество тепла, отводимое со стороны клинового зажима, меньше, чем с обратной стороны

при котором высокотехнологичная деталь — несущая рамка для платы в сборе с зажимами (рис. 5) — покупается в готовом виде у компании Birtcher Products (так же как и Schroff входящей в группу Pentair), а теплопроводящие радиаторы для неё, имеющие вид алюминиевых плиток различной толщины, изготавливаются самим заказчиком. Выгода при использовании второго варианта состоит в том, что для изготовления радиаторов в виде плоских плиток не требуется сложного станочного парка и передачи конфиденциальной информации сторонним организациям. Независимо от использованного варианта, внутренняя поверхность кожуха в результате должна плотно прилегать непосредственно к тепловыделяющим компонентам на печатной плате, причём для улучшения теплопередачи в зоне контакта применяются специальные эластичные прокладки или традиционная термопаста. Таким образом, тепло полностью передаётся на кожух модуля, с которого благодаря большой площади контакта между ним и корпусом шасси в сочетании с высоким усилием прижатия клиновых зажимов легко отводится на корпус и далее во внешнюю среду.

Стандарт VITA48.2 описывает два варианта (правый и левый — рис. 6) исполнения кожухов для активных модулей. Варианты отличаются стороной расположения клиновых зажимов Wedge-Lock/Card-Lock в зависимости от расположения наиболее горячих компонентов на печатной плате. Так как количество тепла, отводимое от той стороны модуля, где нет зажима, существенно больше (рис. 7), то зажим всегда стремятся разместить на более холодной стороне. Кожухи могут вмещать печатные платы высотой 3U и 6U и быть рассчитаны на три различных шага слотов — 0,8, 0,85 и 1 дюйм, соответствующих расположению фрезерованных направляющих пазов в шасси.

Конструкция корпуса шасси

Шасси системы VPX REDI (рис. 8) собрано из фрезерованных алюминиевых деталей, свинченных друг с другом. Для изготовления деталей могут использоваться различные алюминиевые сплавы, соответствующие требованиям заказчика системы. Способ финишной обработки поверхностей также может быть различным: чёрное анодирование (наиболее выгодное с точки зрения теплоотвода), никелирование, жёлтое хромирование и др. Корпус шасси снаружи может иметь оребрение для улучшения теплоотдачи и систему крепёжных отверстий и фланцев для установки различных аксессуаров, крепёжных кронштейнов и дополнительных крышек. Передняя и задняя крышки обычно симметричны, могут иметь различную глубину и дорабатываться в соответствии с требованиями заказчика — иметь отверстия для размещения внешних разъёмов и переключателей, причём место для размещения этих компонентов практически ограничено только размерами внутренней поверхности крышки корпуса, так как внешние крепёжные кронштейны низкопрофильные и практически не отнимают место. В базовой конфигурации корпус шасси собирается без прокладок, однако при наличии соответствующих требований он может иметь как IP-защиту (от проникновения пыли и воды), так и комбинированную защиту IP+EMC (с электромагнитным экранированием), причём соответствующие прокладки могут быть установлены и после изготовления шасси в специальные, заранее предусмотренные пазы. Система на основе стандарта VPX может быть предназначена для установки модулей, выполненных на основе стандартных европлат с размерами



Рис. 8. Корпус шасси может устанавливаться как горизонтально, так и вертикально

100×160 мм (3U) и 233×160 мм (6U), что облегчает переход на этот стандарт для пользователей, ранее применявших системы на основе шин VME и Compact-PCI. Направляющие для модулей выполнены методом фрезерования непосредственно в верхней и нижней панелях шасси, при этом допускается три стандартных шага слотов (0,8, 0,85 и 1 дюйм) для различных вариантов построения системы охлаждения. Конструкция шасси в целом обеспечивает максимально эффективную контактную теплопередачу от нагретых активных компонентов на корпус шасси. Перед началом изготовления системы «в металле» обязательно проводится детальное компьютерное моделирование её теплового режима (рис. 9), по результатам которого проект дорабатывается и снова моделируется до тех пор, пока не будет получен 100-процентный результат.

Варианты отвода тепла от шасси: 4 уровня охлаждения

Внешнее охлаждение систем VPX REDI от Schroff может иметь 4 уровня. На первом уровне для внешнего охлаждения шасси специальные методы не используются. Тепло от активных модулей, установленных в индивидуальных теплоотводящих кожухах (clamshell), передаётся на корпус шасси, который в свою очередь охлаждается при помощи естественной конвекции или (при возможности) кондуктивно передаёт тепло внешним конструктивным элементам объекта-носителя. На втором уровне на поверхности шасси устанавливаются дополнительные радиаторы с оребре-

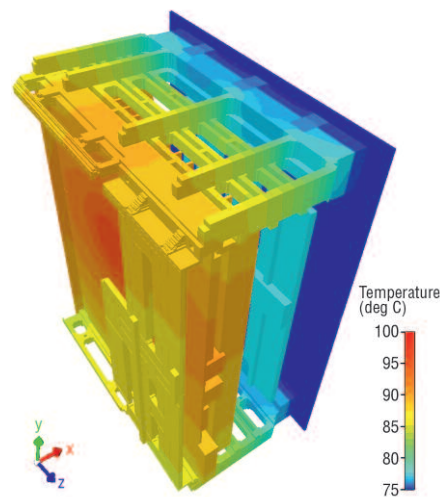


Рис. 9. Результаты теплового моделирования шасси с кондуктивным охлаждением в компании Schroff с помощью программы FloTHERM

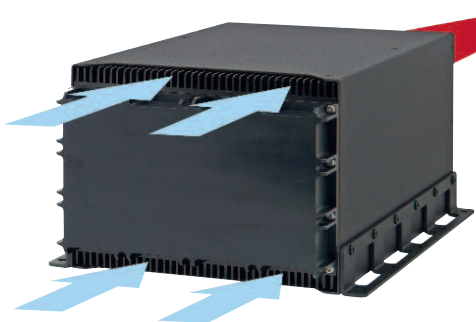


Рис. 10. Дополнительная внешняя оболочка, продуваемая потоком охлаждающего воздуха

нием, увеличивающим общую площадь поверхности, с которой отводится тепло. На третьем уровне эти радиаторы заключаются в дополнительную внешнюю оболочку (рис. 10) из листового металла, и в образовавшемся между радиаторами и оболочкой пространстве при помощи вентилятора организуется интенсивная продувка охлаждающего воздуха, что значительно повышает теплоотводящую способность шасси. И, наконец, на четвертом (максимальном) уровне вместо воздушных радиаторов устанавливаются охлаждающие пластины с проточным жидкостным охлаждением, что позволяет многократно увеличить охлаждающую способность системы. При этом важно подчеркнуть, что для крепления к шасси радиаторов, внешних оболочек и охлаждающих пластин используются одни и те же крепёжные отверстия, что обеспечивает возможность последовательного наращивания теплоотводящей способности шасси. Модульная концепция охлаждения позволяет легко адаптировать систему VPX к текущим требованиям по охлаждению в любой момент времени, что особенно важно в тех случаях, когда на начальных этапах разработки точные требования к охлаждению ещё не известны.

ОБСЛУЖИВАНИЕ: ДОСТАТОЧНО ПРОСТОГО ШЕСТИГРАННОГО КЛЮЧА

К системам VPX REDI могут предъявляться также специальные требования о возможности простого обслуживания (в частности, замены модулей) непосредственно на месте их применения, в условиях воздействия неблагоприятных факторов внешней среды. При этом должен быть исключён риск повреждения оборудования в процессе ремонта или обслуживания.

В таких условиях весьма удобно использовать специальные зажимы Wedge-Lock/Card-Lock с ограничением мо-

мента затяжки (рис. 11), предлагаемые компанией CALMARK, так же как и компания Schroff входящей в группу Pentair. Эти зажимы имеют внутри специальный предохранительный храповой механизм, который обеспечивает фиксированное оптимальное усилие удержания модуля в шасси без использования динамометрического инструмента — их невозможно перетянуть и повредить. При достижении необходимого усилия затяжки оператор слышит щелчок, и, если он продолжает затягивать винт, то храповой механизм начинает прокручиваться, не допуская повреждения деталей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компетенции, разработки и законченные решения в области конструктивов с кондуктивным охлаждением для бортовых вычислительных систем большой мощности, предлагаемые «из одних рук» компанией Schroff с использованием стандартных высокотехнологичных механических компонентов для систем кондуктивного охлаждения от специализирующихся в этой области

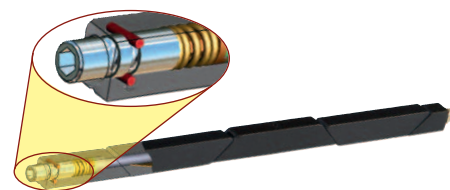


Рис. 11. Клиновой зажим Card-Lock с предохранительным храповым механизмом

дружественных компаний CALMARK и Birtcher Products, также входящих в группу Pentair, предоставляют пользователю уникальную возможность ускорить свою разработку и получить в результате качественный продукт с исключительно высокими техническими характеристиками. В России уполномоченным центром компетенции по этим проблемам и координатором проектов является компания ПРОСОФТ — старейший партнёр компании Schroff на рынке СНГ. ●

**Автор — сотрудник фирмы
ПРОСОФТ
Телефон: (495) 234-0636
E-mail: info@prosoft.ru**

НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

Компания Siemens приобрела Kineo CAM — ведущего разработчика компьютерных систем моделирования кинематики

Фирма Siemens приобрела компанию Kineo CAM (г. Тулуза, Франция) — ведущего поставщика решений для компьютерного моделирования кинематики. Проверенные на практике решения Kineo CAM уже сегодня являются компонентами программных продуктов Siemens PLM Software, способствуя повышению производительности труда пользователей в самых различных отраслях на основе оптимизации кинематики, предотвращения столкновений и планирования траекторий перемещения. Благодаря данному приобретению компания Siemens сможет улучшить возможности автоматизированного моделирования кинематики, реализованные в её программных продуктах, укрепить свои позиции на рынке и перспективы расширения доли рынка. У приобретённой компании имеется свыше 200 заказчиков во всём мире. После завершения сделки Kineo CAM войдёт в состав бизнес-подразделения PLM Software. Соответствующее соглашение было подписано в октябре 2012 года. Стоимость сделки не разглашается.

За двенадцать лет работы Kineo CAM создала передовые программные решения, выполняющие оптимизацию функционирования промышленных роботов и проектирование траекторий их перемещения при операциях сборки-разборки для различных отраслей, в том числе для автомобилестроения, авиационно-космической промышленности и судостроения.

Программные продукты Kineo CAM поставляются конечным пользователям и как готовые приложения, и как библиотеки для разработчиков CAD- и CAM-систем и производителей современных робототехнических комплексов. Обе компании намерены развивать все текущие линейки продуктов Kineo CAM.

Департамент промышленной автоматизации Siemens приобрёл ряд компаний-разработчиков программного обеспечения, утвердив своё лидирующее положение на рынке программных решений для промышленности. Все приобретённые Siemens компании: UGS (США, 2007), Innotec (Германия, 2008), Elan Software Systems (Франция, 2009), Active Tecnologia em Sistemas de Automação (Бразилия, 2011), Vistagy (США, 2011), IBS AG (Германия, 2012), Perfect Costing Solutions GmbH (Германия, 2012) и VRcontext International S.A. (Бельгия, 2012) — являются ведущими поставщиками на соответствующих рынках. ●